

PENGARUH PERLAKUAN PANAS TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KETAHANAN KOROSI BAJA TAHAN KARAT MARTENSITIK 13Cr-1Mo

THE INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ON MICROSTRUCTURE AND CORROSION RESISTANCE OF 13Cr-1Mo MARTENSITIC STAINLESS STEEL

Siska Prifiharni^{1,*}, Moch. Syaiful Anwar¹, dan Efendi Maburri¹

¹Pusat Penelitian Metalurgi dan Material, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Gedung 470 Kawasan Puspiptek, Tangerang Selatan, Banten, Indonesia

*E-mail :sprifiharni@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history

Received date:

15 March 2016

Received in revised form date:

24 March 2016

Accepted date:

29 April 2016

Available online date:

31 May 2016

Abstract

Martensitic stainless steels have been extensively used for turbine blade. Their properties can be improved in various ways, such as by heat treatment. This paper aims to investigate the influence of heat treatment on microstructure and corrosion resistance in martensitic stainless steel 13Cr-1Mo. Samples were austenitized at 950 °C, 1.000 °C, 1.050 °C, 1.100 °C, and tempered at 600 °C. Austenitized sample at 1.050 °C were subsequently tempered at 300 °C, 400 °C, 500 °C, 550 °C, 600 °C, 650 °C, and 700 °C. The tests consist of metallographic observation which was conducted by using an optical microscope, and corrosion tests which were conducted by using 3,5% NaCl solution. The results show evolution of microstructure in martensitic stainless steel 13Cr-1Mo after heat treatment. The microstructure formed consists of tempered martensite, delta ferrite, retained austenite, and carbides. The presence of carbides can also affect corrosion resistance, which will increase along with the increase of tempering temperature due to the increased content of Cr in the carbides. The highest value corrosion resistance was obtained at austenitizing temperature of 1.050 °C and tempering temperature of 600 °C.

Keywords: Heat treatment, Corrosion resistance, Carbides, Martensitic stainless steel

Kata kunci:

Perlakuan panas

Ketahanan korosi

Karbida

Baja tahan karat martensitik

Abstrak

Baja tahan karat martensitik biasa digunakan untuk aplikasi pada turbine blade. Perilaku baja tahan karat jenis ini dapat diperbaiki dengan berbagai cara, salah satunya dengan cara perlakuan panas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan struktur mikro dan ketahanan korosi yang terjadi pada baja tahan karat martensitik 13Cr-1Mo setelah dilakukan perlakuan panas. Perlakuan panas yang dilakukan meliputi austenitisasi pada suhu 950 °C, 1.000 °C, 1.050 °C, dan 1.100 °C pada suhu temper 600 °C. Pada suhu austenitisasi 1.050 °C dilakukan temper pada suhu 300 °C, 400 °C, 500 °C, 550 °C, 600 °C, 650 °C, dan 700 °C. Pengujian yang dilakukan yaitu uji metalografi dengan menggunakan mikroskop optik dan pengujian korosi yang dilakukan dengan menggunakan media larutan 3,5% NaCl. Hasil yang didapat menunjukkan perubahan struktur mikro pada baja tahan karat martensitik 13Cr-1Mo setelah dilakukan perlakuan panas. Struktur mikro yang muncul setelah dilakukan perlakuan panas terdiri dari martensit, delta ferit, austenit sisa, dan karbida. Adanya karbida juga dapat mempengaruhi ketahanan korosi, dimana ketahanan korosi akan semakin meningkat dengan bertambahnya suhu temper akibat meningkatnya kandungan Cr pada karbida. Nilai ketahanan korosi yang paling tinggi didapat pada suhu austenitisasi 1.050°C dan suhu temper 600 °C.

PENDAHULUAN

Baja tahan karat martensitik 13Cr-1Mo digunakan untuk komponen manufaktur, karena memiliki sifat mekanik tinggi dan ketahanan korosi yang cukup baik, yang dapat diaplikasikan pada suhu rendah maupun suhu tinggi. Sifat baja tahan karat jenis ini dapat diubah dengan cara perlakuan panas. Baja ini cocok untuk digunakan pada aplikasi *turbin blade* pada aplikasi sistem turbin uap (Isfahany, Saghafian, and Borhani 2011; Park and Park 2007; Chakraborty et al. 2015; Taji, Moayed, and Mirjalili 2015). Akan tetapi, sering ditemukan kegagalan pada *turbin blade* dikarenakan interaksi dengan lingkungan pada saat turbin uap dioperasikan. Korosi adalah penyebab terbesar kegagalan yang terjadi pada *turbin blade* (Malik et al. 1990).

Sifat mekanik dan ketahanan korosi baja tergantung dari unsur karbon dan khrom yang terkandung di dalamnya. Baja tahan karat martensitik memiliki unsur paduan 11,5 – 18% khrom dan unsur karbon sampai 0,6%. Struktur mikro baja tahan karat jenis ini sangat tergantung dari perlakuan panas baja yang diterima dan biasanya terdiri dari martensitik, karbida yang tidak terlarut, dan austenit sisa. Fraksi volume dan ukuran karbida yang muncul dalam baja dan jumlah austenit sisa merupakan peran utama dalam penentuan nilai kekerasan, kekuatan, ketangguhan, ketahanan korosi, dan ketahanan aus dalam baja (Barlow 2012). Proses perlakuan panas baja tahan karat jenis ini melibatkan *solid solution treatment* (austenitisasi) yang dilakukan untuk memperoleh struktur austenit yang diikuti dengan pendinginan secara cepat untuk memperoleh struktur martensit. Martensit setelah dilakukan *quench* perlu dilakukan *tempering* untuk membentuk presipitat karbida pada material tersebut (Lim et al. 1993).

Efek temperatur austenitisasi terhadap struktur mikro dan sifat mekanik telah dijelaskan di beberapa penelitian. Temperatur austenitisasi mengontrol pemisahan unsur paduan antara austenit dan karbida pada suhu tinggi, serta mengakibatkan terjadinya transformasi martensit, ukuran butir, kekerasan, dan austenit sisa pada kondisi *quenching*. Temperatur austenitisasi yang lebih tinggi akan meningkatkan kelarutan karbida dan menurunkan berat jenis karbida seiring dengan peningkatan temperatur austenitisasi. Kelarutan karbida selama austenitisasi memengaruhi ukuran butir austenit. Peningkatan suhu austenitisasi juga akan meningkatkan kehadiran austenit sisa (Andrés et al. 1998).

Menurut penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, kehadiran austenit sisa dapat mengurangi tingkat penipisan Cr dan meningkatkan stabilitas film pasivasi (Lei et al. 2016). Baja dengan kandungan khrom minimum 11% dapat membuat ketahanan korosi meningkat dengan membentuk *native protective oxide film*. Untuk kelas martensitik, khromium ikut terlarut ke dalam matriks. Ketahanan korosi baja tahan karat martensitik sensitif terhadap fraksi volume karbida yang terlarut dan sangat berhubungan dengan presipitasi karbida yang terjadi saat *tempering* (Candelaria and Pinedo 2003). Pada penelitian ini akan dibahas mengenai pengaruh perlakuan panas austenitisasi dan *temper* terhadap perubahan struktur mikro dan sifat korosi yang terjadi. Diharapkan setelah dilakukan perlakuan panas, baja tahan karat martensitik 13Cr-1Mo ini akan mengalami peningkatan ketahanan korosi.

METODE

Material dan Perlakuan Panas

Spesimen yang digunakan, yaitu baja tahan karat martensitik AISI 410. Spesimen da-

lam bentuk *rod* dipotong menjadi ukuran 10 x 10 x 10 mm dengan komposisi kimia seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Spesimen kemudian dilakukan perlakuan panas austenitisasi pada variasi suhu 950, 1.000, 1.050, dan 1.100 °C selama satu jam dengan menggunakan *muffle furnace* lalu dilakukan *quenching* dengan oli. Kemudian variasi suhu austenitisasi tersebut di-*temper* pada suhu 600 °C kemudian didinginkan pada suhu ruang. Pasca-pe-manasan pada suhu austenitisasi 1.050 °C, spesimen kemudian di-*temper* pada variasi suhu 300, 400, 500, 550, 650, dan 700 °C kemudian didinginkan pada suhu ruangan.

Tabel 1. Komposisi kimia baja tahan karat martensitik 13Cr-1Mo yang digunakan dalam penelitian ini

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Fe
0.148	0.3724	0.958	13.5	0.868	0.3088	Bal.

Spesimen untuk polarisasi anodik memiliki luas permukaan sekitar 1 cm². Sebelum diuji, spesimen disambungkan dengan kawat tembaga menggunakan timah sebagai penyambung aliran listrik. Kemudian sampel dilakukan *mounting* dengan menggunakan resin. Spesimen di-ampelas hingga halus menggunakan kertas ampelas ukuran 80# sampai 1200#.

Uji Metalografi

Sebelum melakukan pengujian metalografi, spesimen yang telah diampelas hingga halus dipoles dengan pasta alumina 5μ hingga 0,1μ sampai permukaan halus mengkilap. Sampel yang telah dipoles kemudian di-tsa dengan menggunakan Vilella's reagent (1 gr Asam Pikrat, 5 mL HCl, dan 100 mL ethanol). Setelah spesimen selesai dipreparasi kemudian spesimen diobservasi dengan menggunakan mikroskop optik dan *scanning electron microscope* (SEM) untuk mengetahui struktur mikro yang terbentuk.

Uji Polarisasi Potensiodinamik

Uji polarisasi dilakukan dengan menggunakan tiga elektroda yang terdiri dari spesimen sebagai elektroda yang diuji, platina sebagai elektroda pembantu, dan *saturated calomel electrode* (SCE) sebagai *reference electrode*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan larutan NaCl 3,5% pada suhu ruang. Ketiga elektroda dicelupkan ke dalam larutan tersebut. Spesimen dicelup selama satu jam sebelum uji polarisasi dimulai. Setelah itu, dilakukan pengkondisian selama 150 detik sebelum perekaman *open circuit potential* (OCP). Uji polarisasi dilakukan pada rentang potensial -200mV sampai +200mV dari OCP dengan *scan rate* 1mV/s.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Metalografi

Struktur mikro baja tahan karat 13Cr-1Mo setelah dilakukan perlakuan panas dengan menggunakan mikroskop optik ditunjukkan pada Gambar 1. Gambar tersebut menunjukkan struktur mikro pada suhu austenitisasi 1050°C di suhu *temper* 300, 550, 650, dan 700 °C berturut-turut. Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa secara umum struktur mikro yang terbentuk dari perlakuan panas yang diberikan mengandung martensit yang berbentuk bilah (*lath martensit*), delta ferite (δ), karbida logam, dan austenit sisa.

Suhu austenitisasi mengontrol pembagian unsur antara austenit dan karbida pada suhu tinggi, serta menyebabkan perubahan ukuran butir dan jumlah austenit sisa yang terdapat pada baja setelah kondisi *quenching*. Peningkatan pada suhu austenitisasi juga dapat meningkatkan kelarutan karbida dalam matriks. Karbida $M_{23}C_6$ terlarut pada rentang suhu sekitar 950-1.050 °C, sedangkan karbida M_7C_3 terlarut pada rentang suhu sekitar 1.050-1.150 °C (Barlow 2012).

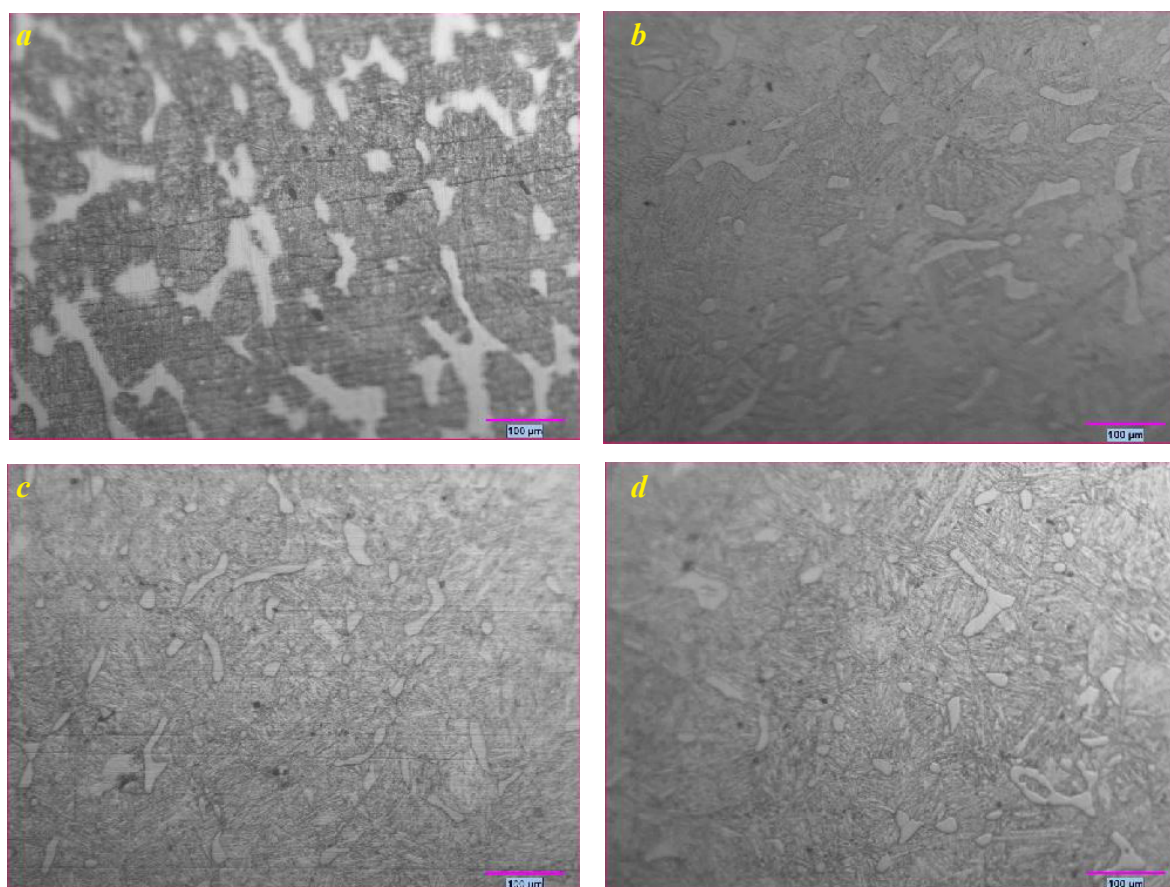
Dari Gambar 1 terlihat fasa marten-sit dan delta ferite dengan sangat jelas. Untuk unsur karbida yang terlarut di dalam matriks tidak dapat terlihat dengan mikroskop optik. Akan tetapi, dapat terlihat dengan menggunakan SEM. Gambar 2 menunjukkan foto struktur mikro pada suhu austenitisasi 1.050°C di suhu *temper* 650 °C. Dari gambar tersebut dapat terlihat delta ferite yang berbentuk seperti pulau dibuktikan dengan EDS pada Gambar 2b dan karbida yang terlihat seperti titik kecil putih di dalam matriks dan di dekat delta ferite tersebut. Karbida yang terbentuk pada saat *tempering* suhu tinggi merupakan $M_{23}C_6$ yang telah dilaporkan pada penelitian sebelumnya (Mabruri et al. 2015).

Karbida $M_{23}C_6$ yang terbentuk selama proses *annealing* sebelum *quenching* dan

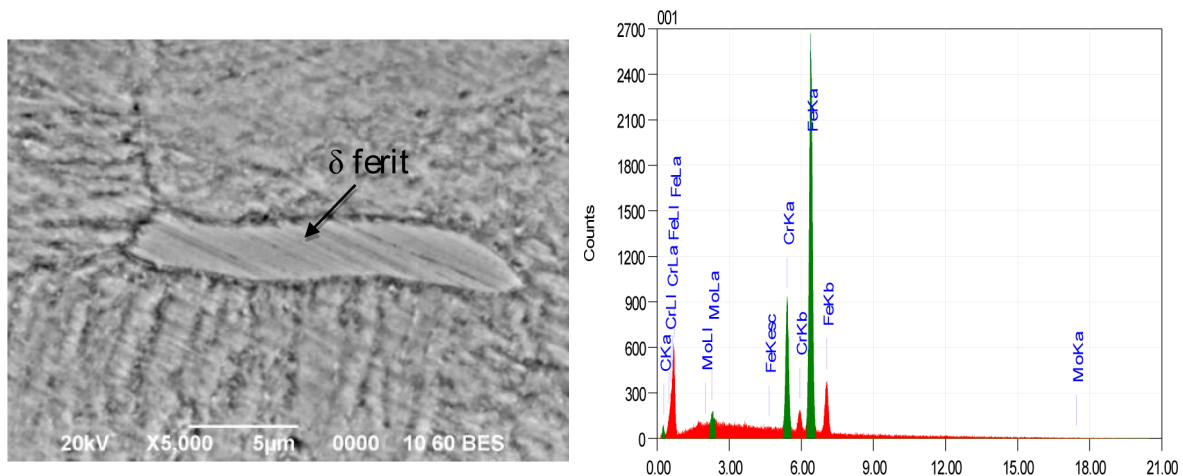
tidak terlarut sepenuhnya ke dalam matriks ketika proses austenitisasi. Kemudian, karbida $M_{23}C_6$ yang tidak terlarut tersebut akan tersisa di dalam matriks *tempered martensite* (Lu et al. 2015). Dari penelitian sebelumnya diketahui bahwa karbida yang terbentuk selama pemanasan *temper* dari suhu rendah ke suhu tinggi, yaitu M_3C , diikuti oleh pembentukan karbida M_7C_3 , dan kemudian $M_{23}C_6$. Dimana M sebagian besar mengandung besi dan khromium (Bjarbo and Hattestrand 2001).

Karakterisasi Korosi

Kurva polarisasi baja tahan karat marten-sitik 13Cr-1Mo dalam larutan 3,5% NaCl setelah dilakukan perlakuan panas pada beberapa variasi suhu austenitisasi dan *temper* ditunjukkan pada Gambar 3 dan



Gambar 1. Struktur mikro 13Cr-1Mo austenitisasi 1.050 °C pada suhu *temper* (a) 300 °C, (b) 550 °C, (c) 650 °C, dan (d) 700 °C dengan perbesaran 100μm

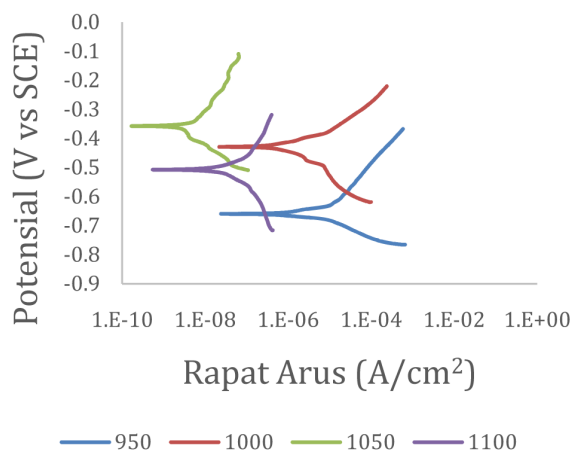


Gambar 2. SEM analisis pada untuk spesimen austenitisasi 1.050 °C dan *temper* 650 °C (a) foto SEM dan (b) spektrum EDS

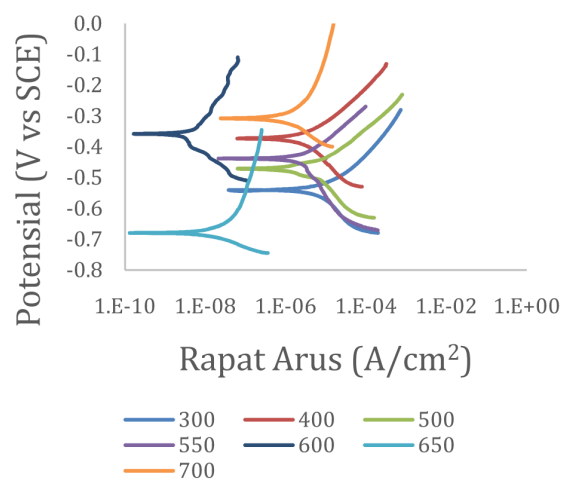
Gambar 4. Gambar tersebut menunjukkan perubahan E_{corr} dan I_{corr} yang terjadi selama perubahan suhu austenitisasi dan suhu *temper*. Kecenderungan suatu logam dapat bereaksi dengan lingkungannya dapat dilihat dari nilai potensial korosi yang terjadi.

Gambar 3 menunjukkan perubahan kurva polarisasi yang terjadi dengan peningkatan suhu austenitisasi. Dari grafik tersebut terlihat bahwa perubahan suhu austenitisasi sangat mempengaruhi perubahan kurva polarisasi. Dengan meningkatnya suhu austenitisasi, kurva yang terjadi

semakin bergeser ke kiri yang menandakan bahwa I_{corr} semakin kecil dengan peningkatan suhu austenitisasi. Akan tetapi, pada suhu austenitisasi di atas 1.050 °C nilai I_{corr} akan menurun. Hal ini menandakan bahwa perlakuan panas pada suhu austenitisasi yang rendah lebih mudah terkorosi dibandingkan dengan spesimen dengan perlakuan panas pada suhu austenitisasi yang lebih tinggi. Potensial korosi tertinggi pada variasi suhu austenitisasi didapat pada suhu 1.050 °C.



Gambar 3. Kurva E – Log I baja tahan karat martensitik 13Cr-1Mo pada variasi suhu austenitisasi pada *temper* 600 °C

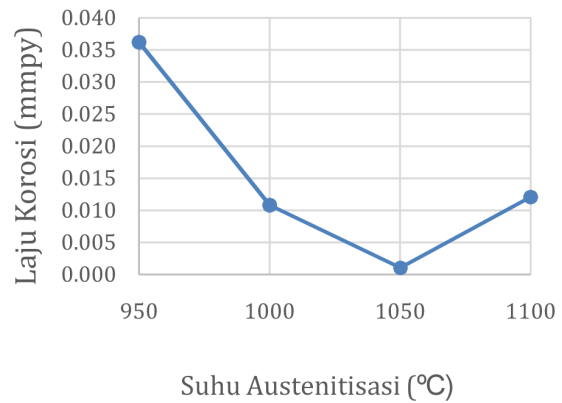


Gambar 4. Kurva E – Log I baja tahan karat martensitik 13Cr-1Mo pada variasi suhu *temper*

Gambar 4 menunjukkan perubahan kurva polarisasi yang terjadi pada beberapa variasi suhu *temper* pada suhu austenitisasi 1.050 °C. Dari grafik tersebut terlihat bahwa potensial korosi sebagian besar akan meningkat dengan meningkatnya suhu *temper*. Perbedaan karakteristik elektrokimia dapat dikaitkan oleh kelarutan beberapa unsur di dalam matriks. Meningkatnya kelarutan karbida seiring dengan meningkatnya suhu austenitisasi, menyebabkan jumlah beberapa unsur seperti karbida dan karbon meningkat di dalam matriks. Hasil yang sama diperoleh juga oleh penelitian sebelumnya (Isfahany, Saghafian, and Borhani 2011). Ketika baja tahan karat kontak langsung dengan lingkungan berair, film pasif khromium oksida memberikan ketahanan korosi yang lebih baik. Akan tetapi, film pasif dapat terserang secara lokal di tempat-tempat tertentu yang disebabkan oleh lemahnya lapisan film pasif di material yang heterogen seperti presipitat, batas butir, inklusi, dan segregasi. Alasan lainnya dikarenakan akumulasi ion klorida yang terdapat di permukaan yang heterogen (Kumar, Reddy, and Rao 2015).

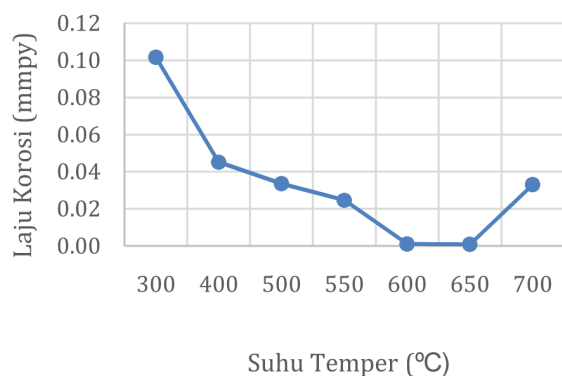
Nilai laju korosi untuk masing-masing spesimen yang diuji pada larutan 3,5% NaCl dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5. Laju korosi semakin menurun seiring dengan meningkatnya suhu austenitisasi dan suhu *temper*. Nilai laju korosi terendah terjadi pada suhu austenitisasi 1.050 °C dan suhu *temper* 650 °C dengan nilai sebesar $8,451 \times 10^{-4}$ mmpy dan nilai laju korosi tertinggi pada suhu *temper* 300 °C. Dari data tersebut menunjukkan bahwa pada saat suhu *temper* di atas 300 °C ketahanan korosi semakin meningkat. Ketahanan korosi dari baja tahan karat martensitik ini semakin meningkat drastis pada suhu *temper* 600 °C dan kembali menurun pada saat suhu *temper* diatas 650 °C. Peningkatan suhu *temper* dapat menurunkan tegangan sisa, tetapi meningkatkan ketahanan koro-

si. Hal ini dikarenakan meningkatnya kandungan unsur kromium yang terlarut dalam matriks. Kelarutan $M_{23}C_6$ dalam matriks diharapkan akan meningkatkan unsur Cr dan Mo, sehingga ketahanan korosi akan meningkat (Park and Park 2007).



Gambar 5. Pengaruh suhu austenitisasi terhadap laju korosi

Penambahan unsur Mo dalam baja tahan karat juga berkontribusi dalam peningkatan ketahanan korosi. Unsur Mo efektif untuk meningkatkan ketahanan korosi hanya dalam kondisi adanya unsur Cr. Beberapa penelitian telah menjelaskan bahwa penambahan Mo memberikan dampak besar terhadap ketahanan korosi baja tahan karat dan mekanisme pembentukan film pasivasi unsur Mo (Frankel 1998; Hashimoto, Asami, and Kawashima 2007; Jargelius-pettersson and Pound 1998; Olejford and Wegrelius 1990).



Gambar 6. Pengaruh suhu *temper* terhadap laju korosi

KESIMPULAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas terhadap struktur mikro dan ketahanan korosi pada baja tahan karat martensitik 13Cr-1Mo. Perubahan suhu austenitisasi dan suhu *temper* dapat merubah struktur mikro dan ketahanan korosi baja tahan karat ini. Secara umum struktur mikro yang terbentuk dari perlakuan panas yang diberikan mengandung martensit yang berbentuk bilah (*lath martensit*), karbida logam, dan austenit sisa. Peningkatan suhu *temper* dapat meningkatkan ketahanan korosi hingga pada suhu *temper* 650 °C. Peningkatan ketahanan korosi pada baja tahan karat martensitik 13Cr-1Mo ini diakibatkan oleh munculnya karbida $M_{23}C_6$ di dalam *tempered martensite*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini merupakan bagian dari hasil penelitian “Pengembangan Material Suhu Tinggi untuk Turbin Pembangkit Listrik”. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian Metalurgi dan Material-LIPI yang telah mendanai penelitian Kompetensi Inti pada Tahun Anggaran 2015.

DAFTAR ACUAN

- Andrés, C. Garcfa D. E., L. F. Álvarez, V. López, J A Jiménez, and Max Planck Strasse. 1998. “Effects of Carbide-Forming Elements on the Response to Thermal Treatment of The X45Cr13 Martensitic Stainless Steel.” *Journal of Materials Science* 33: 4095–4100.
- Barlow, Lilian D. 2012. “The Effect of Austenitising and *Tempering* Parameters on The Microstructure and Hardness of Martensitic Stainless Steel AISI 420.” *Built Environment* 21: 1327–1336.
- Bjarbo, Anders, and Mats Hattestrand. 2001. “Complex Carbide Growth, Dissolution , and Coarsening in a Modified 12 Pct Chromium Steel — an Experimental and Theoretical Study.” *Metllurgical and Materials Transactions* 32 (January): 19–27.
- Candelaria, A. F, and C. E. Pinedo. 2003. “Influence of The Heat Treatment on The Corrosion Resistance of The Martensitic Stainless Steel Type AISI 420.” *Journal of Materials Science* 22: 1151–1153.
- Chakraborty, Gopa, C. R. Das, S. K. Albert, A. K. Bhaduri, V. Thomas Paul, G. Panneerselvam, and Arup Dasgupta. 2015. “Study on *Tempering* Behaviour of AISI 410 Stainless Steel.” *Materials Characterization* 100 (January 2016): 81–87. doi:10.1016/j.matchar.2014.12.015.
- Frankel, G. S. 1998. “Pitting Corrosion of Metals : A Review of the Critical Factors Pitting Corrosion of Metals.” *Journal Electrochemical Society* 145(6): 2186–2198. doi:10.1149/1.1838615.
- Hashimoto, K, K. Asami, and A. Kawashima. 2007. “The Role of Corrosion-Resistant Alloying Elements in Passivity.” *Corrosion Science* 49: 42–52. doi:10.1016/j.corsci.2006.05.003.
- Isfahany, A. Nasery, H. Saghafian, and G. Borhani. 2011. “The Effect of Heat Treatment on Mechanical Properties and Corrosion Behavior of AISI420 Martensitic Stainless Steel.” *Journal of Alloys and Compounds* 509(9): 3931–3936. doi:10.1016/j.jallcom.2010.12.174. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2010.12.174>.
- Jargelius-pettersson, R. F. A., and B. G. Pound. 1998. “Examination of The Role of Molybdenum in Passivation of Stainless Steels Using AC Impedance Spectroscopy.” *Journal Electrochemical Society* 145(5): 1462–1469.

- Kumar, Amit, G. Madhusudhan Reddy, and K. Srinivas Rao. 2015. "Pitting Corrosion Resistance and Bond Strength of Stainless Steel Overlay by Friction Surfacing on High Strength Low Alloy Steel." *Defence Technology* 11(3): 299–307. doi:10.1016/j.dt.2015.06.002. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dt.2015.06.002>.
- Lei, Xiaowei, Yaorong Feng, Jianxun Zhang, Anqing Fu, and Chengxian Yin. 2016. "Electrochimica Acta Impact of Reversed Austenite on The Pitting Corrosion Behavior of Super 13Cr Martensitic Stainless Steel." *Electrochimica Acta* 191: 640–650. doi:10.1016/j.electacta.2016.01.094. <http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2016.01.094>.
- Lim, L. C., M. O. Lai, J. Ma, D. O. Northwood, and Baihe Miao. 1993. "Tempering of AISI 403 Stainless Steel." *Materials Science and Engineering A* 171 (1-2): 13–19. doi:10.1016/0921-5093(93)90388-U.
- Lu, Si-yuan, Ke-fu Yao, Yun-bo Chen, Miao-hui Wang, Xue Liu, and Xueyuan Ge. 2015. "Electrochimica Acta The Effect of *Tempering Temperature* on the Microstructure and Electrochemical Properties of a 13 Wt .% Cr-Type Martensitic Stainless Steel." *Electrochimica Acta* 165: 45–55. doi:10.1016/j.electacta.2015.02.038. <http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2015.02.038>.
- Mabruri, Efendi, Moch Syaiful Anwar, Siska Prifiarni, Toni B. Romijarso, and Bintang Adjiantoro. 2015. "Pengaruh Mo dan Ni Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Baja Tahan Karat Martensitik 13Cr." *Majalah Metalurgi* 3: 133–140.
- Malik, A. U., M Kutty, Nadeem Ahmad Siddiqi, Ismaeel N. Andijani, and Shahreer Ahmad. 1990. "Corrosion Studies on SS 316 L in Low pH High Chloride Product Water Medium." 129–196.
- Olejford, I., and L. Wegrelius. 1990. "Surface Analysis of Passive State." *Corrosion Science* 31: 89–98.
- Park, Jee Yong, and Yong Soo Park. 2007. "The Effects of Heat-Treatment Parameters on Corrosion Resistance and Phase Transformations of 14Cr-3Mo Martensitic Stainless Steel." *Materials Science and Engineering A* 448-451: 1131–1134. doi:10.1016/j.msea.2006.03.134.
- Taji, I., M. H. Moayed, and M. Mirjalili. 2015. "Correlation between Sensitisation and Pitting Corrosion of AISI 403 Martensitic Stainless Steel." *Corrosion Science* 92: 301–308. doi:10.1016/j.corsci.2014.12.009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2014.12.009>.